

А. С. Парамонов, В. М. Казакбаев, С. Х. Ошурбеков, В. А. Прахт
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург
paramonov.aleksey@inbox.ru

СРАВНЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ АСИНХРОННОГО И СИНХРОННОГО РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЕЙ В НАСОСНОМ ПРИЛОЖЕНИИ

Статья посвящена сравнительному исследованию рабочих характеристик регулируемого электропривода малой мощности с синхронным реактивным двигателем и асинхронным двигателем в насосном приложении. Для оценки энергопотребления использованы экспериментальные данные о КПД этих приводов в широком диапазоне режимов работы и математическая модель насоса. Показано, что применение синхронного реактивного двигателя позволяет значительно снизить энергопотребление насосного агрегата.

Ключевые слова: асинхронный двигатель; насосный агрегат; синхронный реактивный двигатель; регулируемый электропривод; энергоэффективность.

A. S. Paramonov, V. M. Kazakbaev, S. H. Oshurbekov, V. A. Prakht
Ural Federal University, Ekaterinburg

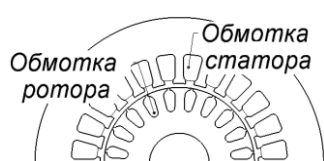
COMPARISON OF ENERGY CONSUMPTION OF ASYNCHRONOUS AND SYNCHRONOUS RELUCTANCE MOTORS IN PUMP APPLICATIONS

This paper presents a comparative study of performances of a low-power variable speed electric drive equipped with a synchronous reluctance and an induction motor in pump applications. To estimate energy consumption, experimental data on the efficiency of these drives in a wide range of operating modes and a mathematical model of the pump are used. It is shown that the use of synchronous reluctance motor provides a significantly reduce the energy consumption of the pump unit.

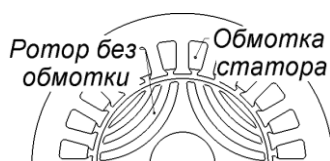
Key words: energy efficiency; induction motor; pump unit; synchronous reluctance motor; variable speed electric drive.

Насосы являются одним из самых крупных потребителей электроэнергии в промышленности (более 25 %). Обычно жизненный цикл центробежного насоса составляет 15–20 лет. Более половины стоимости жизненного цикла насоса составляет стоимость потребленной электроэнергии [1]. Поэтому снижение энергопотребления насосов является актуальной и важной задачей.

Одним из способов снижения этого энергопотребления является применение электродвигателей с повышенным КПД. Асинхронные двигатели (АД, рис. 1а) широко применяются в различных приложениях благодаря низкой стоимости и высокой надежности. Тем не менее, к настоящему времени они уже достигли предела своего конструктивного и технологического совершенствования. Дальнейшее улучшение КПД этих двигателей возможно лишь экстенсивными методами: использование большего количества меди и стали, а также использование медной беличьей клетки ротора вместо алюминиевой, применяемой традиционно. Это ведет к увеличению размеров АД и его стоимости. Более того, наличие медной беличьей клетки ротора приводит к значительному усложнению и удорожанию технологии производства АД из-за высокой температуры плавления меди. Оставаясь приемлемыми по стоимости, АД могут соответствовать лишь классу эффективности IE3 (по стандарту МЭК 60034-30, часть 2).



а)



б)



в)

Рис. 1. а) Конструкция АД; б) Конструкция СРД; в) Конструкция испытательного стенда

Обычно самым энергоэффективным типом двигателя считается синхронный двигатель с редкоземельными постоянными магнитами (ПМСМ). Основным недостатком ПМСМ является его высокая стоимость по причине применения в конструкции двигателя дорогостоящих магнитов.

Наряду с вышеупомянутыми типами двигателей все большее распространение получает синхронный реактивный двигатель (СРД, рис. 1б). Он отличается отсутствием в конструкции постоянных магнитов, что обуславливает значительно большую надежность конструкции и намного меньшую стоимость производства, в сравнении с ПМСМ.

В ходе данной работы, с целью сопоставления энергоэффективности в насосном приложении, было проведено экспериментальное исследование энергоэффективности образцов АД и СРД с номинальными величинами 0,75 кВт, 3000 об/мин: серийного асинхронного двигателя типа М3АА 80 В 2 (производитель АВВ, IE3) и экспериментального образца синхронного реактивного двигателя без магнитов [2]. Двигатели испытывались методом входа-выхода с непосредственным измерением скорости вращения и вращающего момента (рис. 1в). Результаты экспериментального сравнения КПД АД и СРД приводов для случая квадратичной зависимости момента от скорости вращения приведены на рис. 2а. Интерполированные результаты экспериментального исследования были использованы для расчета энергопотребления насоса типа «Calpeda NM 32/12DE» мощностью 0,75 кВт [3] в рабочем цикле (рис. 2в, табл. 1).

Для сравнения экономической целесообразности использования СРД, произведен расчет экономии электроэнергии при цене электроэнергии 4 руб. за кВт·ч (табл. 2).

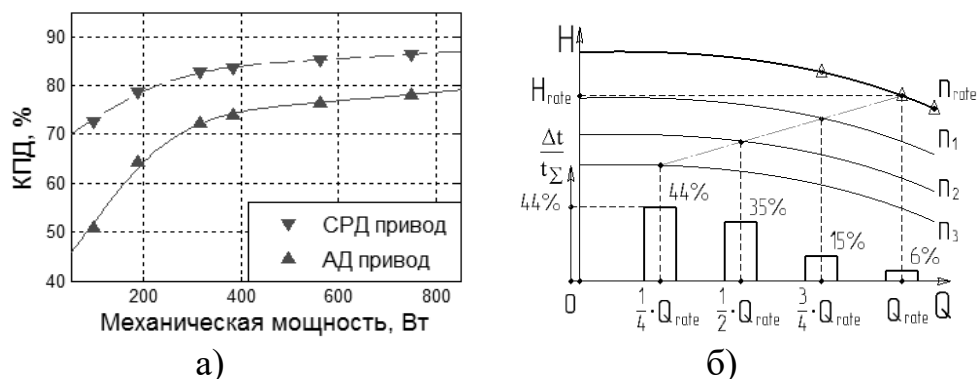


Рис. 2. а) $\eta_{\text{drive}} = f(P_2)$ для приводов (двигатель + ПЧ) с АД и с СРД;
б) Конструкция СРД; в) Рассматриваемые зависимости $H(Q)$ в рабочем цикле

Таблица 1

Рассматриваемые режимы двигателя и насоса в течение рабочего цикла

Расход $Q/Q_{rate}, \%$	Напор $H/H_{rate}, \%$	Скорость вращения $n/n_{rate}, \%$	КПД насоса $\eta_{pump}, \%$	Мощность на валу $P_2/P_{2rate}, \%$	КПД АД привода $\eta_{drive}, \%$	КПД СРД привода $\eta_{drive}, \%$
25	62,5	0,727	32,5	34,6	68,8	81,0
50	75	0,821	55	49,1	73,4	83,3
75	87,5	0,912	68,2	69,3	75,8	84,7
100	100	1	72	1	77,5	86,2

Таблица 2

Результаты расчета экономического эффекта от установки СРД привода

Величина	Значение
Дневное потребление насосного агрегата с АД $E_{IM}, \text{кВт}\cdot\text{ч}$	11,68
Дневное потребление насосного агрегата с СРД $E_{SynRM}, \text{кВт}\cdot\text{ч}$	10,23
Эффект энергосбережения за год, $\Delta E_{year}, \text{кВт}\cdot\text{ч}$	531,6
Эффект энергосбережения $\Delta E, \%$	12,45
Стоимость сэкономленной электроэнергии за год, $COST_{energy}, \text{руб.}$	2125

Можно заключить, что, согласно проведенному расчету, при применении СРД, класса IE5 [2], энергопотребление насосного агрегата снижается более чем на 12 %, в сравнении со случаем использования в приводе серийно производимого АД класса IE3. СРД не имеет литой алюминиевой клетки на роторе, а остальные его узлы имеют стандартную для асинхронных двигателей технологию производства. Таким образом, СРД и АД двигатели стоят примерно одинаково, а экономия энергии за счет применения СРД значительная.

Список использованных источников

1. Waghmode L., Sahasrabudhe A. A comparative study of life cycle cost analysis of pumps // Proceedings of 2010 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference (ASME 2010). 15-18 August 2010, Montreal, Canada. Vol. 6. P. 491–500. DOI: 10.1115/DETC2010-28034.
2. Прахт В. А., Дмитриевский В. А., Казакбаев В. М. Синхронный реактивный двигатель без магнитов класса энергоэффективности IE5 // Электротехника. 2019. № 6. С. 40–46.
3. NM, NMS, Close Coupled Centrifugal Pumps with Flanged Connections. Catalogue, Calpeda, 2018. URL: https://www.calpeda.com/system/pdf/catalogue_en_50hz.pdf